

専 門 科 目

# 化学・生物系分野

## 注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題用紙を開いてはいけません。
- 2 問題用紙は7ページ、解答用紙は8ページあります。試験開始の合図があつてから確かめなさい。
- 3 監督者の指示に従い、解答用紙の各ページに受験番号を記入しなさい。氏名を書いてはいけません。
- 4 文字などの印刷に不鮮明なところがあつた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。ただし、「総得点欄」「採点欄」「得点欄」に記入してはいけません。
- 6 問題用紙の余白は下書きとして利用してよい。
- 7 試験終了後、配付された問題用紙、下書用紙は持ち帰りなさい。

### (注意)

問題1は必答問題です。全員が解答しなさい。

問題2から問題6は選択問題です。**2題を選んで**解答しなさい。下の表で、**自分が選択した問題の解答選択欄に○印**をつけなさい。解答用紙の表紙にも同様の指示があるので、注意すること。

No.	問題種別	出題分野	解答選択欄
問題1	必答問題	化学と生物の基礎	○
問題2	選択問題	有機化学	
問題3	選択問題	無機化学	
問題4	選択問題	物理化学	
問題5	選択問題	生物化学	
問題6	選択問題	生物工学	

# 問題用紙

## ( 化学・生物系分野 )

### 問題 1 ( 必答問題 )

(1) ~ (5) の問いに答えなさい。

(1) 次の文について、正しいものに○、誤っているものに×を記しなさい。

- (a) 4つの原子や原子団が結合している炭素原子がある。それら4つの原子や原子団のうち3つが異なる場合、その炭素原子は不斉炭素になる。
- (b) フェノールは水酸化ナトリウム水溶液と反応してエステルをつくる。
- (c) 芳香族化合物とは、においのある化合物のことを指すわけではない。
- (d) アミノ酸は酸性と塩基性の両方の性質をもつ。
- (e) アルコールは、炭素原子数によらず水によく溶ける。

(2) 次の文について、正しいものに○、誤っているものに×を記しなさい。

- (a) 原子番号が大きくなるほど、原子半径は必ず大きくなる。
- (b) アルカリ金属は水と激しく反応して水素を発生する。
- (c) アンモニアは水によく溶け、その水溶液は酸性を示す。
- (d) ヘキサシアノ鉄(II)酸イオン  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  における配位子は  $\text{CN}^-$  である。
- (e) 酸化還元反応を利用して電気エネルギーを取り出す装置は、電池という。

(3) 次の文中の ( ア ) ( イ ) ( エ ) に入る最適なイオン式を、イオン式群から選びなさい。また、( ウ ) に最適な数値を計算して入れ、答えの有効数字は3桁としなさい。

硬水中の主な陽イオンは ( ア ) と ( イ ) であり、EDTA (エチレンジアミン四酢酸) を用いたキレート滴定によって定量できる。実際に、硬水 100 mL を濃度  $1.00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の EDTA 標準溶液によって滴定すると、終点までに 20.0 mL を要した。この硬水 100 mL 中に存在する ( ア ) と ( イ ) の物質量の合計は ( ウ )  $\times 10^{-4} \text{ mol}$  になる。

硬水を加熱すると白色沈殿 (水あか) が生じる。この沈殿の主成分は、陽イオン ( ア ) と陰イオン ( エ ) から構成される難溶性塩である。

イオン式群 [  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ]

(4) 次の生体物質に関する記述の ( ア ) ~ ( コ ) にあてはまる最適な語を、語群から選びアルファベットで答えなさい。なお、同じ語を繰り返し選んでもよい。

- (a) 光合成によって合成される主な物質は ( ア ) である。
- (b) 細胞の重量の約7割から8割を占めるのは ( イ ) である。
- (c) 遺伝子の転写では、( ウ ) の二重らせん構造が部分的に解離し、片方の鎖を鋳型にして ( エ ) が合成される。
- (d) 細胞壁の主成分であるセルロースは ( オ ) である。
- (e) 酵素は主に ( カ ) から構成されている。
- (f) 真核生物の染色体は遺伝子の本体である ( キ ) と、それが巻きつく塩基性の ( ク ) とで構成されている。
- (g) 細胞膜は ( ケ ) からなる二重層によって構成されている。
- (h) 新型コロナウイルスのパンデミックによって、ウイルスの遺伝情報である ( コ ) の一部を人工的に合成し、ワクチンとして接種する技術が普及した。

語群 [ A: DNA, B: RNA, C: 脂質, D: 炭水化物, E: タンパク質, F: 水 ]

# 問題用紙

## ( 化学・生物系分野 )

(5) 次の文を読み、問いに答えなさい。なお、突然変異による遺伝病の発症はないものとする。

ヒトの体細胞の核内には、通常 46 本の染色体がある。配偶子は 特殊な分裂 により生じ、受精により再び二倍体の個体となる。フェニルケトン尿症と Duchenne 型筋ジストロフィーは、それぞれ常染色体潜性遺伝（常染色体劣性遺伝）と性染色体潜性遺伝（性染色体劣性遺伝）に従ってあらわれる先天性疾患である。

- (a) ヒトの体細胞の核内にある常染色体と性染色体の本数を答えなさい。
- (b) 下線で示す現象の名称を答えなさい。
- (c) フェニルケトン尿症の症状のない両親から生まれた子が、この病気を発症した。この両親から次に生まれる子が、この遺伝病を発症する確率を分数で答えなさい。
- (d) Duchenne 型筋ジストロフィーを通常発症する性別を答えなさい。
- (e) Duchenne 型筋ジストロフィーの子をもつ両親から次に生まれる子が、性別に関わらずこの遺伝病を発症する確率を分数で答えなさい。

# 問題用紙

## ( 化学・生物系分野 )

### 問題 2 (選択問題)

(1) ~ (3) の問いに答えなさい。

(1) 次の文章を読み, (a) ~ (c) の問いに答えなさい。

2-メチルプロペンを原料として, 2-メチル-2-プロパノールを合成する実験を行った。(i) 2-メチルプロペンに塩化水素を付加させ, (ii) 得られた塩化物に水を加えて 70°C で加熱することにより, Cl 基を OH 基に置換した。

- (a) 下線部 (i) の反応により, 1 種類の塩化物が得られた。この塩化物の化学構造式を示し, 生成物が 1 種類のみとなる理由を説明しなさい。
- (b) 下線部 (ii) の反応を, カルボカチオンを中間体とする  $S_N1$  反応として, 以下の 3 段階で進行すると考える。
- 塩化物から Cl が脱離
  - 中間体に水分子が求核攻撃
  - 脱プロトン化によりアルコール生成

各段階の化学反応式を, 矢印を用いて電子の移動がわかるように示しなさい。

- (c) 少量のエタノールを加えて下線部 (ii) の反応を行ったところ, 反応速度が上昇した。その理由を説明しなさい。ただしエタノールは反応しないものとする。

(2) 1,3-ブタジエン 1 分子に HBr 1 分子を室温で付加反応させたとき, 得られる生成物の化学構造式をすべて示しなさい。また, 中間体の共鳴構造を示し, このような生成物が得られる理由を説明しなさい。

(3) 分光法に関する次の (a) ~ (d) の問いに答えなさい。

- (a) 次の文を読み, (ア) と (イ) にもっとも適切な語を入れなさい。  
NMR では, 核の (ア) モーメントの歳差運動を検出する。一方, 赤外分光法 (IR) は, (イ) モーメントの振動による変化を検出する。
- (b) NMR では, 同じ核種でも核が置かれた化学的環境によって共鳴周波数がわずかに変化する。その理由を説明しなさい。
- (c) IR スペクトルでは, C-O 伸縮振動よりも C=O 伸縮振動の方が高い波数 (単位  $\text{cm}^{-1}$ ) で観測される。その理由を説明しなさい。
- (d) NMR は他の分光法に比べて検出感度が低い。その理由を説明しなさい。

# 問題用紙

## ( 化学・生物系分野 )

### 問題 3 (選択問題)

次の文章を読み、(1)～(7)の問いに答えなさい。

周期表において同じ族に属する元素は、類似の化学的性質を示すことが多い。しかしながら、12族元素である亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)は、<sup>(i)</sup>電子配置に共通の特徴を持ちながらも、その<sup>(ii)</sup>物理的および化学的な性質の違いを示す。一方、12族元素は、硫黄(S)などのカルコゲン元素と結合し、硫化亜鉛(ZnS)などといった半導体材料を形成する。これらの半導体は、発光デバイスや太陽電池など幅広い分野で実用的に重要な役割を果たしている。

- (1) 下線部(i)について、Znの電子配置を例にならひ示し、その上で12族元素の電子配置の共通点を最外殻の電子の数に注目して述べなさい。

例： Al = [Ne] 3s<sup>2</sup>3p<sup>1</sup>

- (2) 下線部(ii)について、これら3つの元素について、「常温常圧における物質の三態」と「酸と塩基に対する反応性」による違いを述べなさい。
- (3) ZnSは塩化亜鉛水溶液に硫化水素ガスを吹き込むことにより合成することができる。この化学反応式を示しなさい。

- (4) (3)のZnSは、図1のような閃亜鉛鉱構造をとる。Zn<sup>2+</sup>およびS<sup>2-</sup>の配位数をそれぞれ答え、Zn<sup>2+</sup>の配位数がわかるように各イオン間を線で結びなさい。

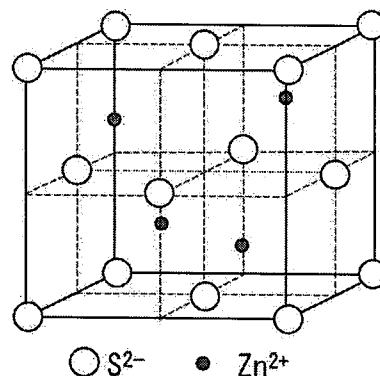


図1 ZnSの結晶構造

- (5) 図1の結晶のZn<sup>2+</sup>、S<sup>2-</sup>のイオン半径をそれぞれ0.060 nm、0.180 nmとした球体であると考え、単位格子の体積を0.158 nm<sup>3</sup>とする。この結晶の充填率は何%か答えなさい。ただし、円周率は3.14として計算過程を示し、答えの有効数字は3桁としなさい。
- (6) 図1の陽イオンと陰イオンの両方の位置に、1種類の元素の原子が配置された場合の結晶構造名と、この結晶構造をとる物質名を1つずつ答えなさい。
- (7) ワイドギャップ半導体であるZnSに、微量のアルミニウム(Al)をドーピングすると、導電性が生じる。このAl原子は、どのサイト(ZnサイトまたはSサイト)に置換されるか答えなさい。また、このドーピングにより導電性が生じる理由を価電子の観点から簡潔に説明しなさい。

# 問題用紙

## ( 化学・生物系分野 )

### 問題 4 (選択問題)

次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えなさい。ただし、融雪剤の溶解熱は $-81 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、水の比熱容量は $4.2 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 、氷の融解熱は $3.3\times 10^2 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $3.6\times 10^6 \text{ J} = 1.0 \text{ kWh}$ としなさい。また、(2)～(6)の問いにおいては途中の計算過程を示し、答えの有効数字は2桁としなさい。

新潟県は世界有数の豪雪地帯である。長岡市では、生活道路において<sup>(i)</sup>融雪剤を使用せず、<sup>(ii)</sup>冬でも約 $13 \text{ }^\circ\text{C}$ と温暖な地下水を散水して積雪を融かすシステムが普及している。十日町市では、温泉を利用した消雪パイプが設置され、さらに温泉を利用した発電も導入されている。後者は温泉発電と呼ばれ、<sup>(iii)</sup>湧出した温泉の熱エネルギーを発電に活用しており、持続可能な自然資源活用技術として期待されている。

- (1) 次の文中の ( ア ) に入る最適な語を、( イ ) と ( ウ ) に入る最適な数値を答えなさい。ただし、氷および水は、いずれも常圧下の状態とする。

氷の結晶は水分子間の ( ア ) 結合によって形成された隙間の多い構造 (隙間構造) であり、結晶中の1個の水分子は ( イ ) 個の水分子と ( ア ) 結合を形成している。融解に伴って ( ア ) 結合の一部が切断し、自由になった水分子が隙間に入り込み、密度が増加する。水になると、温度上昇に伴って、残っている隙間構造の崩壊による密度の増加と、水分子の熱運動による密度の減少とが釣り合う ( ウ )  $^\circ\text{C}$  において、密度が最大になる。

- (2) 下線部 (i) に関して、融雪剤  $1.0 \text{ mol}$  が水  $1.0 \text{ kg}$  に完全に溶解すると、この水の温度は何 $^\circ\text{C}$  上昇するか答えなさい。ただし、融雪剤の溶解に伴って放出される熱量はすべて水の温度上昇に使われるものとする。
- (3) 下線部 (ii) に関して、 $13^\circ\text{C}$  の地下水  $1.0 \text{ kg}$  が雪を融かして  $0^\circ\text{C}$  になったとすると、この地下水  $1.0 \text{ kg}$  が雪に与えた熱量は何  $\text{kJ}$  か答えなさい。
- (4)  $100 \text{ kg}$  の雪 ( $0^\circ\text{C}$ ) を完全に融かすためには、少なくとも何  $\text{kg}$  の地下水 ( $13^\circ\text{C}$ ) が必要になるか答えなさい。ただし、地下水の熱量はすべて融雪に使われ、最終的に全体が  $0^\circ\text{C}$  の水になるものとする。
- (5) 下線部 (iii) に関して、 $100^\circ\text{C}$  の温泉 (液体)  $2.0\times 10^4 \text{ kg}$  が供給され、その熱量の一部が熱機関によって仕事に変換された結果、温泉の温度が  $70^\circ\text{C}$  まで低下した。最終的に、温泉が放出した熱量のうち電気エネルギーに変換された割合が  $20\%$  であったとすると、発電量は最大何  $\text{kWh}$  になるか答えなさい。
- (6) (5) の熱機関はカルノーサイクルで作動するとし、高温熱源である温泉 (液体) の温度を  $100^\circ\text{C}$ 、低温熱源である冷却器の温度を  $15^\circ\text{C}$  とすると、このカルノーサイクルにおける熱効率は最大何%か答えなさい。

# 問題用紙

## ( 化学・生物系分野 )

### 問題 5 (選択問題)

次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えなさい。

細胞は、小さな化学工場にたとえられる。細胞内では、さまざまな化学反応が行われており、それらの反応の進行にはエネルギーのやり取りが重要な役割を担っている。多くの生物の細胞では、<sup>(i)</sup> グルコース (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) が酸素の存在下で分解され、水と二酸化炭素が生成される。この反応は好気呼吸とよばれ、反応によって生じたエネルギーの一部を利用して ATP が合成される。一方、酸素が存在しない環境では、アルコール発酵を行う生物が存在する。この場合、<sup>(ii)</sup> グルコースはエタノールと二酸化炭素に分解される。アルコール発酵でも ATP が合成されるが、その量は好気呼吸に比べて少ない。ATP は分子内にエネルギーを蓄えており、さまざまな生命活動を支えるために使われる。

- (1) ATP 分子内には、加水分解により多量のエネルギーが放出される結合 (高エネルギー結合) が存在する。図 1 の矢印で示す①～④の中から、高エネルギー結合をすべて選びなさい。

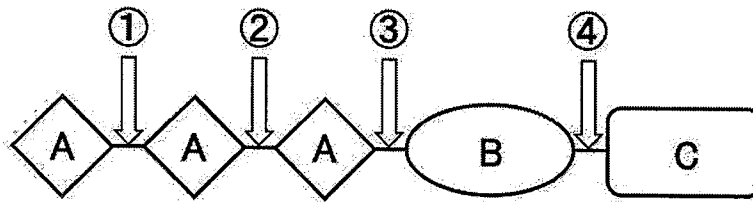


図1 ATP の化学構造を示す模式図  
A はリン酸, B はリボース, C はアデニンを示す。

- (2) 文章中の下線部 (i) と (ii) の化学反応式を答えなさい。
- (3) 酵母はある条件下で培養すると、グルコースを基質として、好気呼吸とアルコール発酵を同時に行う。酵母にグルコースを与えて培養したところ、0.96 g の酸素が消費され、3.08 g の二酸化炭素が発生した。下の (a)～(c) に答えなさい。ただし、基質はグルコースのみであり、原子量は H = 1, C = 12, O = 16 とする。(b) と (c) は計算過程も示し、答えの有効数字は 2 桁としなさい。
- (a) 消費された酸素と発生した二酸化炭素の物質量は何 mol か答えなさい。
- (b) アルコール発酵によって発生した二酸化炭素の質量は何 g か答えなさい。
- (c) 好気呼吸とアルコール発酵を合わせて分解されたグルコースの質量は何 g か答えなさい。
- (4) グルコース 1.0 mol が好気呼吸によって完全に分解されると、 $2870 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  のエネルギーが放出される。ある実験により、1.0 mol のグルコースから 32 mol の ATP が好気呼吸で合成されることが確認された。このときグルコースの分解によって得られたエネルギーのうち、ATP の合成に使われたエネルギーの割合は何%か答えなさい。ただし、ATP を 1.0 mol 合成するために必要なエネルギーは、 $30 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  であるとする。計算過程も示し、答えの有効数字は 2 桁としなさい。
- (5) 真核細胞では、好気呼吸の最終段階でミトコンドリア内膜において大量の ATP が合成される。ミトコンドリア内膜において、ATP 合成がどのように行われるか簡潔に説明しなさい。

# 問題用紙

( 化学・生物系分野 )

## 問題 6 (選択問題)

次の文章を読み、(1)～(7)の問いに答えなさい。

血液循環は、ポンプとしての心臓が、気体成分(酸素と二酸化炭素)、栄養分(グルコースやアミノ酸など)や老廃物(アンモニアや尿素など)などを含む血液を輸送するしくみである。近年、血液型や病原体感染を考慮せずに使用できる人工血液や心臓のポンプ機能を代替する装置(全人工心臓)の実用化が報告されるようになってきた。

図1は血液循環の経路を示しており、心臓(A～D)から送り出された血液は、肺の毛細血管(I)あるいは体各部の毛細血管(J)を経て、心臓に送り返される。図2は、血液循環における心臓内および体内各部位の血管における血圧変化を示している。

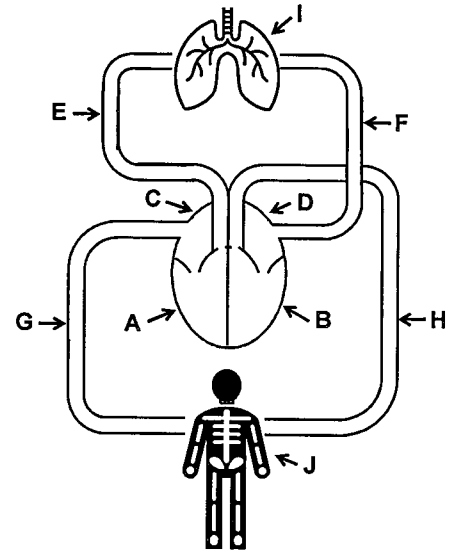


図1 血液循環の経路

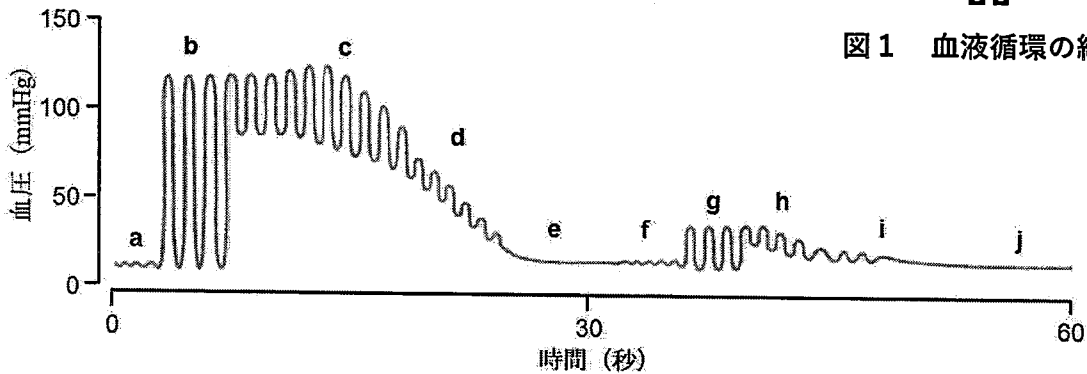


図2 血液循環の経路における血圧変化

- (1) ①と②は、図1における血液の流れる順序を示す。①と②の血液循環の名称を答えなさい。また、(ア)～(ク)に適切な部位を、図1中のC～Iから選びなさい。
  - ① A → (ア) → (イ) → (ウ) → (エ)
  - ② B → (オ) → (カ) → (キ) → (ク)
- (2) 図1において、二酸化炭素濃度が高い血液が流れる血管をE～Hから2つ選びなさい。
- (3) 図1における心臓部位A～Dにおける血圧変化は、それぞれ図2のa～jのどの部分に対応するかを答えなさい。
- (4) 図2のグラフにおいて、動脈、静脈、毛細血管に対応する部分をa～jから、それぞれ2つずつ選びなさい。
- (5) 図2のグラフにおいて、1回の拍動により心臓から送り出される全血液量を80 mLとして、1分間あたりに心臓から送り出される全血液量を推測しなさい。推測の根拠も説明しなさい。
- (6) 下線を引いた物質のうちの1つの運搬が、人工血液の開発における大きな課題である。どの物質のどのような性質が、開発における課題であるかを考えて答えなさい。
- (7) 図1と図2を参考にして、全人工心臓にはいくつのポンプが備わっており、それぞれがどのような圧力で血液を送り出す必要があるかを述べなさい。